نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۹، ص ۲۸۷-۲۷۳

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 10, No. 2, Fall- Winter 2020, p. 273-287

بهینه‌سازی و ارزیابی شرایط کاری تیغه خاک‌ورز جدید به‌منظور استفاده در خاک‌ورز مرکب

مجتبی محمدی[۱]، سید حسین کار پرورفرد[۲*]، سعادت کامگار[۳]، محمد رحمتیان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۷

چکیده

نوعی تیغه خاک‌ورز جدید با زوایای تمایل مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق تیغه‌های باله‌دار و بدون باله ساخته شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش که به‌عنوان عوامل وابسته در نظر گرفته شدند عبارت از دو سطح عمق خاک‌ورزی (۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر)، پنج زاویه تمایل (صفر، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه) و سه سطح سرعت پیشروی (۳، ۴ و ۵ کیلومتر بر ساعت) بودند. همچنین شش عامل مستقل اندازه‌گیری شده شامل مقاومت کششی، مصرف سوخت تراکتور، لغزش چرخ محرک، سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک، سطح مقطع بالاآمدگی خاک و مقاومت ویژه بودند. برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای از طرح آماری کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه‌ی طرح کامل تصادفی و در سه تکرار استفاده گردید. طبق نتایج به‌دست آمده از بهینه‌سازی، مقادیر بهینه‌ی عمق خاک‌ورزی برای تیغه‌های باله‌دار و بدون باله، ۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. همچنین مقادیر بهینه‌ی زاویه تمایل و سرعت پیشروی در هر دو حالت باله‌دار و بدون باله به‌ترتیب ۲۵ و ۲۴/۸ درجه و ۳/۳ و ۳/۵ کیلومتر بر ساعت به‌دست آمد. ضمناً راندمان کششی تراکتور ۸۲ درصد و میزان کاهش مصرف سوخت تراکتور ۳۴ درصد بر اساس شرایط موجود در این پژوهش گزارش گردید.

واژه‌های کلیدی: راندمان کششی، زاویه تمایل بهینه تیغه، سرعت پیشروی بهینه، عمق بهینه خاک‌ورزی

مقدمه

در بخش کشاورزی، یکی از مهم‌ترین عملیاتی که اهمیت بالایی برای کشاورزان دارد، عملیات خاک‌ورزی می‌باشد. با توجه به وجود مشکلاتی نظیر محدودیت منابع آب، فقیر بودن خاک‌های مناطق مرکزی و جنوبی کشور از مواد آلی و آسیب‌پذیر بودن ساختمان آن‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک و وجود مشکلاتی در استفاده از روش خاک‌ورزی مرسوم، به اجبار بایستی ادوات خاک‌ورزی حفاظتی مورد توجه کشاورزان قرار گیرد (Rahmatian *et al.*, 2018). با توسعه‌ی مشکلات خاک‌ورزی مرسوم، توجه بیشتر به خاک‌ورزی حفاظتی معطوف گردید. بدین ترتیب طراحی و ساخت خاک‌ورزهای مرکب مورد توجه بیشتر قرار گرفت (Melero *et al.*, 2009). امروزه طراحان و تولیدکنندگان ماشین‌های کشاورزی به دنبال پیدا کردن راه‌حل‌هایی برای غلبه بر کمبود منابع آبی و خاکی و همچنین کاهش منابع سوخت در سرتاسر دنیا هستند. یکی از این راه‌حل‌ها، بهینه‌سازی ادوات و ماشین‌های مورد استفاده در عملیات کشاورزی می‌باشد. تیغه از مهمترین اجزای هر خاک‌ورز مرکب است که چگونگی تنظیم آن و همچنین تأثیر آن بر عوامل مختلفی همچون نیروی کششی و میزان سوخت مصرفی تراکتور بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Rahmatian *et al.*, 2018).

در پدیده‌های طبیعی و مسائل تجربی روش‌های متعددی برای تخمین یک پارامتر از روی چند پارامتر و بهینه‌سازی آن وجود دارد. یکی از روش‌های پیش‌بینی رفتار و بهینه‌سازی یک متغیر نسبت به متغیرهای مستقل، مدل رگرسیون خطی چند متغیره است (Bilgili and Sahin, 2010; Kotu and Deshpande, 2015). روش رگرسیون چند متغیره نه تنها یکی از قدیمی‌ترین روش‌های پیش‌بینی و بهینه‌سازی است بلکه ساده‌ترین روش تشریح شده برای برازش تابع نیز می‌باشد که از مدل‌های مختلفی همچون مدل خطی، مدل مربعی، مدل دو فاکتوره و غیره می‌توان بهره برد (Bilgili and Sahin, 2010; Kotu and Deshpande, 2015).

در پژوهشی با استفاده از یک گاوآهن کج ساق منفرد راست‌گرد با زاویه تمایل ۳۰ درجه، گزارش شد که مقاومت کششی در زاویه حمله ۷/۵ درجه حداقل بود و با افزایش عمق خاک‌ورزی، نرخ تغییرات مقاومت کششی گاوآهن کج ساق در مقایسه با گاوآهن برگردان‌دار بیشتر شد اما مقاومت ویژه آن به‌طور محسوسی کمتر بود به علاوه سطح مقطع به هم خورده خاک در زاویه حمله ۱۵ درجه حداکثر شد (Majidi-Iraj and Raoufat, 1997).

در پژوهشی اثرات عمق کار و لغزش چرخ محرک تراکتور بر مصرف سوخت در هنگام شخم با دو گاوآهن مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش عمق کار، مقاومت کششی افزایش یافته و به همین دلیل مصرف سوخت نیز افزایش یافت. همچنین با افزایش

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شیراز
۲- دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز
۳- استادیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز
۴- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: karparvr@shirazu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v10i2.73914

لغزش چرخ محرک تراکتور در عمق‌های مختلف نیز مصرف سوخت افزایش یافت (Moitzi *et al*., 2014).

در پژوهشی اثر زاویه‌های حمله مختلف بر نیروی اعمالی به یک تیغه باریک بررسی شد و بیان گردید که هرچه زاویه‌ی حمله بزرگ‌تر در نظر گرفته شود، به‌هم‌خوردن خاک افزایش می‌یابد و لایه‌های عمیق خاک سست می‌گردند ولی نیروی اعمالی به تیغه بیشتر خواهد شد و نیروی کشش افزایش می‌یابد. درنتیجه محققان با توجه به بررسی‌های انجام گرفته، زاویه‌ی حمله بهینه برای تیغه مورد نظر را ۳۵ درجه اعلام کردند (Solhjou *et al*., 2012).

در پژوهش دیگری، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مربوط به مقاومت مکانیکی خاک از روش‌های رگرسیون چند متغیره، الگوریتم ژنتیکی و پتانسیل بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) استفاده شد و این سه روش از نظر دقت و کارآیی با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که سه روش مذکور به‌خوبی می‌توانند پارامترهای مربوط به مکانیک خاک را پیش‌بینی کنند، اما در این بین روش پتانسیل بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) نسبت به دو روش دیگر پیش‌بینی نزدیک‌تری ارائه داد (Hosseini *et al*., 2016).

در پژوهشی اثر هندسه بال بر نیروی کششی و عمودی خاک‌ورز قلمی بالدار با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره بهینه‌سازی شد. در این پژوهش تیمارهای مورد نظر عمق خاک‌ورزی، زاویه تمایل و زاویه حمله بال بود. مقادیر بهینه برای عمق خاک‌ورزی، زاویه تمایل و زاویه حمله بال به‌ترتیب ۵ سانتی‌متر، ۱۱/۱۰ درجه و ۱۹/۴۶ درجه به‌دست آمد (Salar and Karparvarfard, 2017).

در پژوهشی برای بهینه‌سازی شرایط تیغه قلمی فولادی با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره نشان داده شد که مقادیر بهینه‌ی سرعت پیشروی، زاویه حمله و رطوبت خاک که تیمارهای اصلی این تحقیق بودند به‌ترتیب ۵ کیلومتر بر ساعت، ۳۶ درجه و ۰/۸۱ حد پلاستیک (معادل ۱۴/۸ درصد رطوبت وزن خشک) به‌دست آمدند. در این تحقیق عوامل اندازه‌گیری شده عبارت از مقاومت کششی، سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک، سطح مقطع بالاآمدگی خاک، لغزش چرخ تراکتور، مصرف سوخت، شاخص مخروطی، قطر متوسط وزنی کلوخه‌ای و مقاومت ویژه بودند و همچنین تأثیر لغزش و مصرف سوخت بر روی مقادیر بهینه بررسی گردید. نتایج حاصل بیانگر تأثیر زاویه حمله بر روی مقاومت کششی، لغزش چرخ و مصرف سوخت بود. رطوبت بهینه نیز نقش مهمی در تراکم‌پذیری خاک داشت به نحوی که حداقل لغزش چرخ و به دنبال آن کمترین مقدار شاخص مخروطی را در پی داشت. حداقل مصرف سوخت به همراه حداقل میزان لغزش چرخ‌های محرک نیز در سرعت ۵ کیلومتر بر ساعت گزارش شد (Rahmatian *et al*., 2018).

در پژوهشی برای بهینه‌سازی عوامل مؤثر بر انرژی مصرفی گاوآهن برگردان‌دار از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شد. در این پژوهش تیمارهای مورد نظر عمق خاک‌ورزی، رطوبت خاک و سرعت پیشروی بود. عوامل اندازه‌گیری شامل مصرف سوخت و مقاومت کششی در نظر گرفته شد. مقادیر بهینه‌ی عمق خاک‌ورزی، رطوبت خاک و سرعت پیشروی به‌ترتیب ۲۰ سانتی‌متر، ۱۶/۴۱درصد و ۵/۸ کیلومتر بر ساعت گزارش گردید (Mehrijani *et al*., 2018).

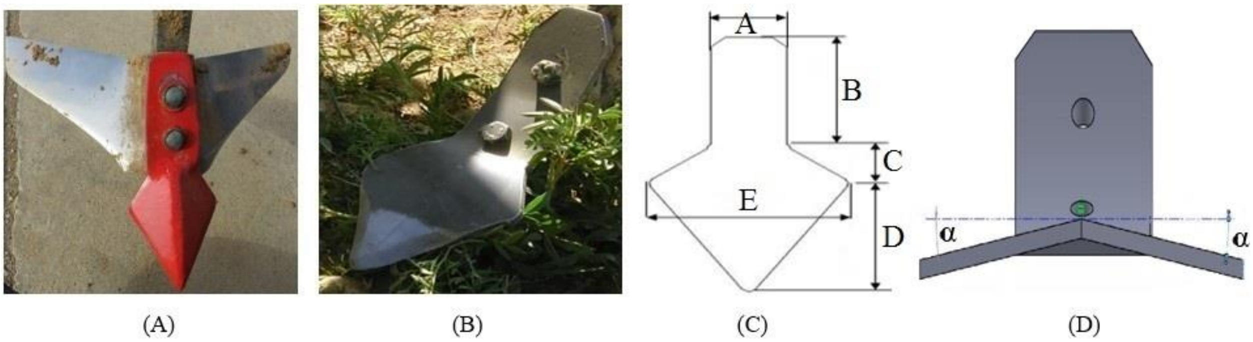
با توجه به پژوهش‌های فوق‌الذکر و همچنین پی بردن به اهمیت بهینه‌سازی ادوات خاک‌ورزی، این پژوهش با هدف بهینه‌سازی شرایط عملیاتی برای خاک‌ورز مرکب با تیغه باریک جدید مجهز به زاویه تمایل با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و همچنین مقایسه عملکرد این تیغه‌ها در حالات در نظر گرفته شده، انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه شماره ۱۰ دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در شمال شرقی (NE) شهر شیراز انجام شد. طبق آزمایش‌های اولیه‌ای که بر روی خاک مزرعه انجام گرفت، با توجه به ۳۹ درصد رس، ۲۹ درصد شن و ۳۲ درصد سیلت، بافت خاک لومی رسی تشخیص داده شد. همچنین رطوبت اولیه خاک بر حسب وزن خشک ۱۰/۹۲ درصد و چگالی ظاهری خاک نیز ۱/۶ $g.cm^{-3}$ به‌دست آمد.

برای انجام آزمایش‌ها از یک گاوآهن قلمی سوار تک ساق ساخت شرکت سازه کشت ایران استفاده شد که در طرفین آن دو چرخ برای تنظیم عمق قرار داشت. همچنین تیغه‌ای فولادی با نسبت رعنایی[1] (نسبت عمق کار به پهنای تیغه) ۱/۱۱ و ۱/۴۸ به‌ترتیب برای عمق‌های ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر (عمق‌های مد نظر در این پژوهش) ساخته شده و بر روی گاوآهن نصب گردید (شکل ۱- C). تیغه مورد نظر با زوایای تمایل مختلف و به دو صورت باله‌دار و بدون باله در کارگاه ساخته شده بود (شکل‌های ۱–A و ۱–B). جنس مورد استفاده برای ساخت تیغه‌ها از جنس فولاد CK 45 بود. همچنین تیغه با زاویه تمایل صفر درجه که اساس ساخت دیگر تیغه‌ها قرار داشت، ساخت شرکت بلوتا[2] اسپانیا بود. زاویه حمله تیغه‌ها در تمام مراحل کار ثابت و ۳۰ درجه بود. مشخصات کامل تیغه‌ها شامل ابعاد و اندازه‌ها در جدول ۱ توضیح داده شده است. تنظیمات تراز طولی و عرضی گاوآهن برای هر آزمون به‌طور دقیق انجام می‌گرفت.

1- Aspect ratio
2- Bellota



شکل ۱– A– تیغه باریک جدید بال‌دار، B– تیغه باریک جدید بدون باله، C– طرحواره تیغه باریک جدید، D– نمایش زاویه تمایل (α)

Fig.1. A- Winged new narrow blade, B- non-winged new narrow blade, C- Schematic new narrow blade, D- Show the tilt angle (α)

جدول ۱– ابعاد تیغه‌های ساخته شده در این آزمایش (حروف بر روی شکل‌های ۱–C و ۱– D موجود می‌باشد)

Table 1- The dimensions of the blades made in this test (letters are shown in Figures 1-C and 1-D)

تیغه Blade	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	زاویه تمایل (α) Tilt angle (α)
1	50	110	35	115	135	0
2	50	110	35	115	135	10
3	50	110	35	115	135	15
4	50	110	35	115	135	20
5	50	110	35	115	135	25



شکل ۲– آزمون دو تراکتوری و نیروسنج متصل شده بین دو تراکتور

Fig.2. RNAM test code and Load cell connected between two tractors

در این پژوهش، تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح عمق خاک‌ورزی ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر، پنج سطح زاویه‌ی تمایل صفر، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه و سه سطح سرعت پیشروی ۳، ۴ و ۵ کیلومتر بر ساعت بودند که به‌عنوان عوامل وابسته در نظر گرفته شدند. همچنین عوامل اندازه‌گیری شده مقاومت کششی (D)، مصرف سوخت تراکتور (F)، لغزش چرخ محرک تراکتور (S)، سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک (SDA)، سطح مقطع بالاآمدگی خاک (SUA) و مقاومت ویژه (SR) بودند که به‌عنوان عوامل مستقل در معادله‌ها مدنظر بودند. مزرعه آزمایشی براساس آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه‌ی طرح کامل تصادفی و در سه تکرار، کرت‌بندی گردید.

داده‌برداری در این پژوهش به کمک یک سامانه جمع‌آوری داده که توسط Rahmanian-Koushkaki *et al.* (2015) ساخته شده،

مورد استفاده قرار گرفت. این سامانه داده‌های مربوط به دبی‌سنج‌ها، نیروسنج و دورسنج‌ها را با نرخ داده برداری ۱۰۰ میلی‌ثانیه از طریق ورودی‌های مربوطه دریافت می‌کرد و از طریق کابل RS232 به رایانه قابل حمل منتقل می‌کرد. بر روی رایانه، نرم‌افزاری نصب شده بود که مقادیر دریافتی از سامانه داده‌برداری را نمایش و ذخیره می‌نمود.

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی خاک‌ورز مورد نظر در این پژوهش از روش آزمون دو تراکتوری استفاده گردید (شکل ۲). بدین منظور، دستگاه نیروسنج که از نوع S شکل و ساخت شرکت کلی[1] کشور چین بود، توسط اتصالاتی بین دو تراکتور نصب گردید. تراکتور ITM-۳۹۹ وظیفه کشش را بر عهده داشت و تراکتور دوم پشت تراکتور کشنده قرار داشته و گاوآهن به آن متصل شده بود. برای اندازه‌گیری سرعت پیشروی تراکتور، از دو دورسنج ۵۰۰ پالس ساخت شرکت اُتونیکس[2] کشور کره جنوبی و چرخ پنجم که در کنار تراکتور بر روی شاسی نصب گردید استفاده شد. دورسنج‌ها با اتصالات انعطاف‌پذیری به چرخ پنجم و چرخ عقب تراکتور متصل شدند. سپس با استفاده از رابطه (۱)، مقدار لغزش چرخ محرک تراکتور به‌دست آمد (Rahmatian *et al.*, 2018).

$$slip = \frac{d_2 - d_1}{d_2} \qquad (۱)$$

در این رابطه d_1 برابر مسافت طی شده توسط چرخ پنجم و d_2 برابر با مسافت طی شده توسط چرخ محرک عقب تراکتور می‌باشد.

برای اندازه‌گیری دبی حجمی سوخت مصرفی از دو حسگر دبی‌سنج توربینی VISION-1000 ساخت شرکت ریمگ[3] کشور سوئیس استفاده گردید. چون در موتورهای دیزلی سوخت اضافی مصرف نشده از پمپ انژکتور، انژکتورها و فیلترها به مخزن سوخت بر می‌گردد، علاوه بر دبی‌سنجی که در مسیر رفت سوخت به پمپ انژکتور قرار داده شده بود، یک دبی‌سنج نیز در مسیر برگشت سوخت به مخزن قرار گرفت و میزان دبی مصرفی موتور از طریق تفاضل جریان عبوری از دو دبی‌سنج محاسبه شد.

برای تعیین سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک و سطح مقطع بالاآمدگی خاک ابتدا در هر تیمار، پس از عبور خاک‌ورز، یک برش عرضی به عمق به‌هم خورده توسط خاک‌ورزی در خاک ایجاد شد. پس از تخلیه خاک در برش ایجاد شده، پروفیل‌متر بر روی سطح آن قرار داده شد و میله‌های آن که هرکدام دو سانتی‌متر با هم فاصله داشتند تا برخورد با خاک پایین آورده شدند. بدین ترتیب تعدادی از نقاط سطح گسیختگی خاک و همچنین نقاطی از خاک برآمده به‌دست آمد. برای به‌دست آوردن مساحت سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک از قانون سیمپسون[4] (رابطه ۲) استفاده شد، که در نرم‌افزار متلب (Matlab R2013b) نوشته و اجرا گردید (Rahmatian *et al.*, 2018).

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{h}{3}\left[f(x_0) + 2\sum_{j=1}^{n/2-1} f(x_{2j}) + 4\sum_{j=1}^{n/2} f(x_{2j-1})) + f(x_n) \right] \qquad (۲)$$

در این رابطه $X_0 = a$ ، $X_n = b$ ، f بیانگر مقادیر سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و سطح مقطع بالاآمدگی خاک، n تعداد نقاطی که از پروفیل‌متر به‌دست آمد و h نیز $\frac{b-a}{n}$ می‌باشد.

مقاومت ویژه، نسبت مقاومت کششی ابزار خاک‌ورز به سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک می‌باشد. لذا در این پژوهش با تقسیم مقادیر میانگین مقاومت کششی ابزار خاک‌ورز مورد نظر بر مقادیر میانگین سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک در هر کرت و در هر تیمار، مقادیر مقاومت ویژه ابزار خاک‌ورز به‌دست آمد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه‌ی ۹/۴ استفاده گردید. برای مقایسه‌ی میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری[5] استفاده شد. معنی‌دار بودن اثر هر عامل آزمایش، در سطح احتمال ۵ درصد در نظر گرفته شد. برای بهینه‌سازی شرایط کاری تیغه باریک جدید به دو صورت باله‌دار و بدون باله از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شد.

در رابطه‌ی (۳) عوامل وابسته با حرف Y و عوامل مستقل با حرف X نمایش داده شده است. b نیز به‌عنوان ضریب رگرسیونی می‌باشد.

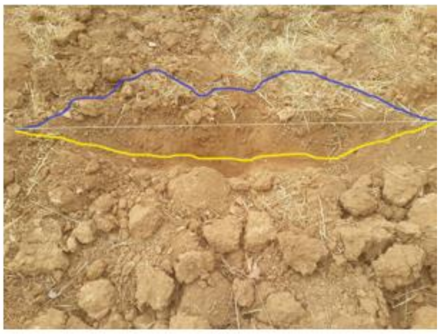
$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \ldots + b_n X_n \qquad (۳)$$

در معادلاتی که از طریق رگرسیون چند متغیره در این پژوهش به‌دست آمد، طبق آزمایش‌های انجام گرفته، تیمارهای آزمایشی را به‌عنوان عوامل وابسته و عوامل اندازه‌گیری شده به‌عنوان عوامل مستقل در نظر گرفته شدند. عوامل وابسته عبارت از سرعت پیشروی (FS)، زاویه تمایل (TA) و عمق خاک‌ورزی (TD) بودند. همچنین عوامل مستقل X_1 تا X_6 به‌ترتیب مقاومت کششی (D)، لغزش چرخ محرک تراکتور (S)، مصرف سوخت تراکتور (F)، سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک (SDA)، سطح مقطع بالاآمدگی خاک (SUA) و مقاومت ویژه (SR) در نظر گرفته شدند.

1- Kelly
2- Autonics
3- Remag
4- Simpson’s rule
5- Least significant difference test (LSD)



(A)



(B)

شکل ۳– A– نحوه استفاده از پروفیل‌متر، B– سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک

Fig.3. A- How to use profilometer, B- Disturbance and upheaving area of the soil

نتایج و بحث

با توجه به این‌که تیغه به‌کار برده در این پژوهش با دو طرح بال‌دار و بدون باله مورد ارزیابی قرار گرفته شدند، به همین دلیل برای بهینه‌سازی هریک از تیمارهای سرعت پیشروی، عمق خاک‌ورزی و زاویه تمایل تیغه، دو معادله رگرسیونی برای حالت‌های بال‌دار و بدون باله به‌دست آمد.

جدول ۲، آنالیز واریانس داده‌های موجود برای تیغه باریک جدید در حالت بال‌دار می‌باشد. طبق این جدول، تمام عوامل اندازه‌گیری شده در این پژوهش برای تیمارهای مد نظر معنی‌دار شده است. به همین دلیل از تمام عوامل اندازه‌گیری شده می‌توان در معادله‌های رگرسیونی چند متغیره برای حالت بال‌دار استفاده نمود. همچنین جدول ۳ نیز آنالیز واریانس مربوط به داده‌های تیغه بدون باله را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول تمام عوامل اندازه‌گیری شده به غیر از مصرف سوخت برای تیمارهای مد نظر معنی‌دار شده است. به همین دلیل از تمامی عوامل به‌جز عامل مصرف سوخت به دلیل معنی‌دار نشدن اثر آن در معادلات تیغه باریک جدید بدون باله، استفاده گردید.

جدول ۲– آنالیز واریانس عوامل اندازه‌گیری شده برای تیغه باریک جدید بال‌دار

Table 2- Analysis of variance of measured variables for winged new narrow blade

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	Mean square میانگین مربعات مقاومت کششی Draft	سطح مقطع بالاآمدگی خاک Soil upheaving area	سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک Soil disturbance area	مصرف سوخت Fuel consumption	لغزش Slippage	مقاومت ویژه Special draft
زاویه تمایل (A) Tilt angle (A)	4	0.00301**	48881.9414**	25366.5107**	0.00127**	3.76992**	1.81320**
عمق خاک‌ورزی (D) Tillage depth (D)	1	0.21904**	5931.1732**	609263.6533**	0.00961**	5.49081**	30.02134**
سرعت پیشروی (V) Forward speed (V)	2	0.11212**	25178.3779**	15668.6908**	0.09465**	2.20079**	0.37201**
A×D	4	0.00488**	571.2864**	299.6703**	0.00006ns	0.41787**	0.13337**
A×V	8	0.00172**	436.6447**	334.2634**	0.00041**	0.31345**	0.03697**
D×V	2	0.02166**	1644.1545**	961.3607**	0.00094**	0.84414**	0.07075**
A×D×V	8	0.00077**	94.2579**	113.0169**	0.00006ns	0.08753*	0.00698**
خطا Error	40	0.00019	7.0625	14.1592	0.00004	0.03650	0.00161
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		0.49	0.64	0.64	1.49	4.25	0.84

**= $p \leq 0.01$, * = $p \leq 0.05$, ns = non-significant

جدول ۳- آنالیز واریانس عوامل اندازه‌گیری شده برای تیغه باریک جدید بدون باله

Table 3- Analysis of variance of measured variables for non-winged new narrow blade

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		مقاومت کششی Draft	سطح مقطع بالاآمدگی خاک Soil upheaving area	سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک Soil disturbance area	مصرف سوخت Fuel consumption	لغزش Slippage	مقاومت ویژه Special draft
زاویه تمایل (A) Tilt angle (A)	4	0.1435^{**}	11807.86^{**}	11832.93^{**}	0.16595^{ns}	0.76517^{**}	2.76201^{**}
عمق خاک‌ورزی (D) Tillage depth (D)	1	0.12996^{**}	65215.85^{**}	651154.71^{**}	0.19044^{ns}	7.11211^{**}	80.29667^{**}
سرعت پیشروی (V) Forward speed (V)	2	0.01776^{**}	8584.2^{**}	13101.27^{**}	0.16891^{ns}	1.74211^{**}	1.78481^{**}
A×D	4	0.01065^{**}	69.14^{**}	72.02^{**}	0.15039^{ns}	0.19517^{**}	0.66807^{**}
A×V	8	0.00075^{**}	25.12^{**}	37.86^{**}	0.14823^{ns}	0.14392^{**}	0.00967^{**}
D×V	2	0.00149^{**}	151.36^{**}	899.64^{**}	0.14608^{ns}	0.20344^{**}	0.83407^{**}
A×D×V	8	0.00032^{**}	20.63^{**}	37.43^{**}	0.14060^{ns}	0.58583^{*}	0.01172^{**}
خطا Error	40	0.00006	6.40	4.27	0.14174	0.02472	0.00302
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		0.32	0.95	0.44	84.46	3.99	0.98

$**= p \leq 0.01$, $*= p \leq 0.05$, ns = non-significant

تعیین مقدار بهینه زاویه تمایل خاک‌ورز قلمی

داده‌های مربوط به عوامل وابسته و مستقل با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره کنار هم قرار داده شد. روابط (۴) و (۵) برای بهینه‌سازی زوایای تمایل به‌ترتیب برای حالت‌های باله‌دار و بدون باله به‌دست آمد.

$$\left[TA_{opt}\right]_1 = 43.275854 - 12.461974D - 36.818546F - 2.394773S + 0.142786SUA - 0.01836SDA - 3.601287SR \quad (۴)$$

$$\left[TA_{opt}\right]_2 = -22.309931 + 19.208268D + 0.803759S + 0.033074SUA - 0.046402SDA - 2.232632SR \quad (۵)$$

در این روابط، $\left[TA_{opt}\right]_1$ و $\left[TA_{opt}\right]_2$ به‌ترتیب زاویه تمایل بهینه برای حالت باله‌دار و بدون باله‌ی تیغه باریک جدید می‌باشند. جدول ۴ نشان‌دهنده مقایسه میانگین داده‌های مربوط به حالت‌های باله‌دار و بدون باله برای تیغه باریک جدید می‌باشد. مقادیری که در این جدول با نشان ستاره (*) مشخص شده به‌عنوان بهترین مقدار در هریک از عوامل اندازه‌گیری شده در تیمار زاویه تمایل می‌باشد که در روابط (۴) و (۵) برای به‌دست آوردن مقدار بهینه جای‌گذاری شدند. با توجه به جدول‌های ۵ و ۶، می‌توان مشاهده نمود که ضرایب رگرسیونی به‌دست آمده در روابط (۴) و (۵) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. با توجه به روابط (۴) و (۵) و همچنین جدول ۴، مقدار بهینه زاویه تمایل تیغه باریک جدید در دو حالت باله‌دار و بدون باله به‌ترتیب ۲۵ و ۲۴/۸ درجه با ضریب همبستگی به‌ترتیب ۰/۸۹۰۵ و ۰/۹۰۲۹ به‌دست آمد. بنابراین مقاومت تنش برشی خاک با افزایش این سطح رو به کاهش نهاده و نهایتاً از مقدار مقاومت کششی خاک‌ورز کم می‌گردد. باتوجه به جدول ۲ تأثیر این متغیر بر مصرف سوخت در وضعیت تیغه‌ی جدید باله‌دار دارای اختلاف معنی‌داری بود. نتایج مندرج در خصوص مقاومت کششی و مصرف سوخت در جدول ۴ برای دو وضعیت تیغه باله‌دار و بدون باله تحت زاویه تمایل ۱۰ درجه مطابق با نتایج حاصله از پژوهش Azimi Zadeh, (2017) می‌باشد. لازم به ذکر است با مقایسه نتایج حاصله در این تحقیق با پژوهش مذکور سایر صفات اندازه‌گیری شده از برتری نسبی برخوردار شده است.

جدول ٤- مقایسه‌ی میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و حالت بهینه براساس زاویه تمایل در دو حالت باله‌دار و بدون باله

Table 4- Average comparison of measured values and optimal mode based on tilt angle in two modes in two modes winged and non-winged

	زاویه تمایل **Tilt angle (Degree)**	مقاومت کششی **Draft (kN)**	سطح مقطع بالاآمدگی خاک **Soil upheaving area (cm^2)**	سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک **Soil disturbance area (cm^2)**	مصرف سوخت **Fuel consumption (L min^{-1})**	لغزش **Slippage (%)**	مقاومت ویژه **Special draft (N cm^{-2})**
باله‌دار Winged	0	2.754	348.889	544.889	0.432	4.865	5.161
	10	2.722*	377.332	562.445	0.409*	4.739	4.924
	15	2.727	411.772	590.594	0.422	4.872	4.702
	20	2.737	446.297	605.834	0.415	4.106	4.613
	25	2.727	479.111*	640.963*	0.422	3.905*	4.322*
بدون باله Non-winged	0	2.583	232.887	438.111	0.617	4.183	6.158
	10	2.527	250.963	455.853	0.394*	3.700*	5.743
	15	2.515*	267.777	427.591	0.401	4.117	5.490
	20	2.522	282.297	487.628	0.408	3.911	5.316
	25	2.518	298.148*	503.258*	0.408	3.794	5.161*

*= مقادیر بهینه‌ی هریک از عوامل اندازه‌گیری شده در تیمار زاویه تمایل تیغه

*= Optimal values of each of the factors measured in the tilt angle blade treatment

جدول ۵- آنالیز واریانس برای ضرایب رگرسیونی معادله مربوط به بهینه‌سازی زاویه تمایل تیغه باریک جدید باله‌دار

Table 5- Analysis of variance for regression coefficients of the equation related to the optimization of the tilt angle of the winged new narrow blade

	df	SS	MS	F	P Value
Regression	6	5930.97	988.49	112.54	**
Residual	83	729.03	8.78		
Total	89	6660			

**= $p \leq 0.01$

جدول ٦- آنالیز واریانس برای ضرایب رگرسیونی معادله مربوط به بهینه‌سازی زاویه تمایل تیغه باریک جدید بدون باله

Table 6- Analysis of variance for regression coefficients of the equation related to the optimization of the tilt angle of the non-winged new narrow blade

	df	SS	MS	F	P Value
Regression	5	6013.67	1202.73	156.31	**
Residual	84	646.33	7.69		
Total	89	6660			

** = $p \leq 0.01$

با توجه به این‌که تأمین زاویه تمایل بر روی سطح برش تیغه به‌عنوان نوآوری در این پژوهش مد نظر می‌باشد، بنابراین از نتایج حاصله می‌توان مشاهده نمود که غالباً با افزایش زاویه تمایل، مقادیر مقاومت کششی خاک‌ورز کاهش پیدا کرده است (جدول ۴). یکی از دلایل این امر می‌تواند کاهش تصویر سطح تماس تیغه در مواجهه با خاک باشد، که منجر به کاهش اصطکاک بین تیغه و خاک و به دنبال آن حرکت روان‌تر خاک بر روی تیغه می‌شود. همچنین با افزایش زاویه تمایل تیغه، خاک کمتری جابه‌جا می‌شود که این خود باعث کاهش مقاومت کششی می‌گردد (Salar *et al*., 2013). همچنین افزایش مقاومت کششی متناسب با عکس کسینوس زاویه تمایل در سطح اولیه‌ی تیغه نیز می‌باشد (Mckyes, 1985). نتایج به‌دست آمده از این تحقیق در مورد رابطه‌ی بین زاویه تمایل و مقاومت کششی با نتایج دیگر پژوهش‌ها که نشان دادند با افزایش زاویه تمایل، مقاومت کششی کاهش می‌یابد، مطابق دارد (Harrison and Licsko, 1989). با افزایش زاویه تمایل تیغه، سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک نیز افزایش یافت (جدول ۴). با توجه به اینکه با افزایش زاویه تمایل، روان‌روی خاک بر روی سطح تیغه افزایش یافته و ذرات خاک به‌راحتی بر روی سطح تیغه جابه‌جا می‌شوند، به همین خاطر سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک نیز افزایش می‌یابد. برخی از پژوهشگران گزارش نموده‌اند که با افزایش زاویه

تمایل، سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک نیز افزایش یافت (Raheman and Chen, 2001; Sahu and Raheman, 2006; Manuwa, 2009; Salar *et al*., 2013) که با نتایج این تحقیق نیز هم‌خوانی دارد. همچنین با افزایش زاویه تمایل تیغه و به‌تبع آن کاهش مقاومت کششی به‌وجود آمده، مصرف سوخت و لغزش چرخ تراکتور در حالت کلی کاهش می‌یابد. دلیل افزایش این دو فاکتور ارتباط مستقیم آن‌ها با مقاومت کششی می‌باشد، که با افزایش یا کاهش مقاومت کششی و تأثیر آن بر روی عملکرد تراکتور، این دو فاکتور افزایش یا کاهش می‌یابند (Shafaei *et al*., 2018). طبق جدول ۴، مقادیر متغیرهای مقاومت کششی، مصرف سوخت، لغزش چرخ تراکتور و سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک در حالت کلی برای تیغه باله‌دار بیشتر از تیغه بدون باله است. دلیل این امر وجود باله می‌باشد که این باله سطح بیشتری را در هنگام برخورد با خاک ایجاد می‌کند و خاک بیشتری را در معرض گسیختگی قرار می‌دهد (Salar and Karparvarfard, 2017). به همین دلیل نیروی بیشتری از طرف خاک به تیغه وارد شده و باعث افزایش مقاومت کششی در تیغه باله‌دار می‌گردد. همچنین به دلیل برخورد سطح بیشتری با خاک، گسیختگی و جابه‌جایی خاک افزایش یافته، به همین دلیل مقادیر سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک نیز برای حالت باله‌دار افزایش می‌یابد. به همین دلیل و به‌تبع افزایش مقاومت کششی و سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک در حالت باله‌دار نسبت به بدون باله، مصرف سوخت و لغزش چرخ تراکتور در حالت کلی برای حالت باله‌دار بیشتر از حالت بدون باله می‌باشد.

تعیین مقدار بهینه سرعت پیشروی خاک‌ورز

برای به‌دست آوردن سرعت پیشروی بهینه نیز از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شد. با توجه به عوامل وابسته و مستقل و روش رگرسیون چند متغیره روابط (۶) و (۷) به‌دست آمد.

$$\left[FS_{opt}\right]_1 = -6.825139 + 3.842054D + 10.791583F + 0.2723S + 0.005212SUA - 0.008558SDA - 0.536467SR \quad (۶)$$

$$\left[FS_{opt}\right]_2 = -22.309931 + 19.208268D + 0.80376S + 0.033074SUA - 0.046402SDA - 2.232632SR \quad (۷)$$

$\left[FS_{opt}\right]_1$ و $\left[FS_{opt}\right]_2$ به‌ترتیب بهینه‌ی سرعت پیشروی در حالت‌های باله‌دار و بدون باله برای تیغه باریک جدید می‌باشند. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به حالت‌های باله‌دار و بدون باله در سرعت‌های مختلف در جدول ۷ نشان داده شده است. در این جدول برای هریک از عوامل اندازه‌گیری شده بهترین مقدار انتخاب شد و با نشان ستاره (*) مشخص گردید. این مقادیر مشخص شده برای به‌دست آوردن سرعت پیشروی بهینه در رابطه‌های (۶) و (۷) جای‌گذاری شدند. جدول‌های ۸ و ۹، نشان‌دهنده آنالیز واریانس ضرایب رگرسیونی در رابطه‌های (۶) و (۷) می‌باشند. طبق این جدول‌ها تمامی ضرایب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. با توجه به رابطه‌های (۶) و (۷) و جدول ۷، مقدار سرعت پیشروی بهینه در دو حالت باله‌دار و بدون باله به‌ترتیب ۳/۳ و ۳/۵ کیلومتر بر ساعت با ضریب همبستگی به‌ترتیب ۰/۸۹۸۱ و ۰/۷۹۳۸ به‌دست آمد. باتوجه به جدول ۲ این متغیر نیز بر مصرف سوخت در وضعیت تیغه‌ی جدید باله‌دار دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

جدول ۷- مقایسه‌ی میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و حالت بهینه براساس سرعت پیشروی در دوحالت باله‌دار و بدون باله

Table 7. Average comparison of measured values and optimal mode based on forward speed in two modes in two modes winged and non-winged

	سرعت پیشروی Forward speed ($km.h^{-1}$)	**مقاومت کششی Draft (kN)**	**سطح مقطع بالاآمدگی خاک Soil upheaving area (cm^2)**	**سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک Soil disturbance area (cm^2)**	**مصرف سوخت Fuel consumption ($L\ min^{-1}$)**	**لغزش Slippage (%)**	**مقاومت ویژه Special draft ($N\ cm^{-2}$)**
باله‌دار Winged	3	2.676*	383.200	562.612	0.374*	4.219*	4.855
	4	2.726	413.733	600.623	0.404	4.513	4.632*
	5	2.798	441.112*	603.600*	0.483	4.760	4.747
بدون باله Non-winged	3	2.509*	249.733	451.133	0.363*	3.723*	5.814
	4	2.533	265.955	470.444	0.509	3.900	5.581
	5	2.557	283.555*	492.889*	0.465	4.200	5.326*

*= مقادیر بهینه‌ی هریک از صفت‌های اندازه‌گیری شده در تیمار سرعت پیشروی

*= Optimal values of each of the factors measured in the forward speed treatment

جدول ۸- آنالیز واریانس برای ضرایب رگرسیونی معادله مربوط به بهینه‌سازی سرعت پیشروی تیغه باریک جدید باله‌دار

Table 8- Analysis of variance for regression coefficients of the equation related to the optimization of the forward speed of the winged new narrow blade

	df	SS	MS	F	P Value
Regression	6	53.88	8.98	121.84	**
Residual	83	6.12	0.07		
Total	89	60			

** = $p \leq 0.01$

جدول ۹- آنالیز واریانس برای ضرایب رگرسیونی معادله مربوط به بهینه‌سازی سرعت پیشروی تیغه باریک جدید بدون باله

Table 9- Analysis of variance for regression coefficients of the equation related to the optimization of the forward speed of the non-winged new narrow blade

	df	SS	MS	F	P Value
Regression	5	47.63	9.53	64.71	**
Residual	84	12.37	0.15		
Total	89	60			

** = $p \leq 0.01$

با توجه به جدول ۷، مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت پیشروی، مقاومت کششی نیز افزایش پیدا کرده است. دلیل این افزایش می‌تواند افزایش مقاومت برشی خاک در سرعت‌های بالا باشد (Row and Barnes, 1961). همچنین با افزایش سرعت پیشروی، شتاب بیشتری به خاک وارد شده و موجب مقاومت بیشتر ذرات خاک در مقابل تیغه می‌گردد که این مقاومت ذرات خاک نیز موجب افزایش مقاومت کششی می‌شود. نتایج به‌دست آمده با نتایج دیگر پژوهش‌ها که نشان دادند با افزایش سرعت پیشروی، مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد (Al-suhaibani and Ghaly, 2010; Akbarnia *et al.*, 2014; Ibrahmi *et al.*, 2015)، مطابقت دارد. با افزایش سرعت پیشروی، سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک افزایش داشته است (جدول ۷). با افزایش سرعت پیشروی، سرعت و شتابی که به ذرات خاک وارد می‌گردد نیز افزایش می‌یابد. این افزایش سرعت و شتاب ذرات خاک نیز، خود باعث جابه‌جایی بیشتر ذرات خاک و همچنین تحت تأثیر قرار دادن ذرات خاک اطراف می‌شود. به همین دلیل ذرات خاک جابه‌جایی زیادی داشته و گسیختگی خاک و حرکت خاک افزایش می‌یابد که موجب افزایش سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک می‌شود. همچنین دیگر پژوهشگران بیان داشته‌اند که با افزایش سرعت پیشروی، سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک نیز افزایش می‌یابد (Manuwa, 2009; Jafari *et al.*, 2011) که نتایج این تحقیق نیز بیانگر همین امر می‌باشد. با افزایش سرعت پیشروی نیز مصرف سوخت و لغزش چرخ تراکتور افزایش یافت (جدول ۷). همانطور که بیان گردید با افزایش سرعت پیشروی مقاومت کششی و سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک افزایش می‌یابد و از طرف خاک نیروهایی که به تراکتور وارد می‌گردد افزایش می‌یابد. تراکتور نیز بر آن است تا بر این نیروها غلبه کرده و به حرکت رو به جلوی خود ادامه دهد که این غلبه کردن بر نیروها، باعث افزایش مصرف سوخت و لغزش چرخ تراکتور می‌شود. همچنین می‌توان گفت که در هنگام افزایش سرعت پیشروی، تراکتور در مدت زمان کمتری سطح مزرعه را طی می‌کند، در نتیجه مقدار سوخت مصرفی در واحد سطح کاهش می‌یابد (Shafaei *et al.*, 2018). نتایج سایر پژوهشگران نیز افزایش مصرف سوخت و لغزش چرخ تراکتور را در هنگام افزایش سرعت پیشروی بیان می‌کند (Ismail *et al.*, 1993; Shafaei *et al.*, 2018) که با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق هم‌خوانی دارد. در جدول ۷ نیز قابل مشاهده است که مقدار متغیرهای اندازه‌گیری شده برای تیغه باله‌دار بیشتر از تیغه‌ی بدون باله می‌باشد. دلیل این امر وجود باله می‌باشد. باله‌ها سطح برخورد با خاک را افزایش داده و تیغه باله‌دار خاک بیشتری را جابه‌جا می‌کند که موجب افزایش مقاومت کششی و سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک می‌شود (Spoor and Godwin, 1978). همچنین با افزایش مقاومت کششی و سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک به هنگام وجود باله نیز مصرف سوخت و لغزش چرخ تراکتور افزایش می‌یابد.

تعیین مقدار بهینه عمق خاک‌ورزی

برای به‌دست آوردن بهینه‌ی عمق خاک‌ورزی در بازه ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر نیز مانند حالت‌های قبل از رگرسیون چند متغیره استفاده شد و در این معادله بهترین مقادیر شش صفت اندازه‌گیری شده که با نشان ستاره در جدول ۱۰ نشان داده شده، در رابطه‌های (۸) و (۹) جای‌گذاری شد و در نهایت بهینه‌ی عمق خاک‌ورزی برای دو حالت باله‌دار و بدون باله‌ی تیغه باریک جدید به‌دست آمد.

$$\left[TD_{opt}\right]_1 = 16.55728 - 5.062823D + 5.101697F + 0.179773S - 0.022713SUA + 0.034645SDA - 0.1683SR \quad (۸)$$

$$\left[TD_{opt}\right]_2 = +8.526534 - 4.704671D - 0.19298S - 0.044862SUA + 0.058294SDA + 1.097584SR \quad (۹)$$

در این رابطه $\left[TD_{opt}\right]_1$ و $\left[TD_{opt}\right]_2$ عمق خاک‌ورزی بهینه به‌ترتیب برای دو حالت باله‌دار و بدون باله می‌باشند. جدول ۱۰ نشان‌دهنده مقایسه میانگین داده‌های مربوط به حالت‌های باله‌دار و بدون باله در عمق‌های مختلف می‌باشد. مقادیری که با نشان ستاره (*) در این جدول مشخص شده‌اند، بهترین مقدار عوامل اندازه‌گیری شده در عمق‌های مختلف است که با جای‌گذاری این مقادیر در رابطه‌های (۸) و (۹) مقدار بهینه عمق خاک‌ورزی برای هر حالت باله‌دار و بدون باله به‌دست آمد. با توجه به رابطه‌های (۸) و (۹) و جدول ۱۰، مقدار بهینه عمق خاک‌ورزی در دو حالت باله‌دار و بدون باله ۲۰ سانتی‌متر با ضریب همبستگی به‌ترتیب ۰/۹۶۶۵ و ۰/۹۹۲۴ به‌دست آمد. جدول‌های ۱۱ و ۱۲، آنالیز واریانس ضرایب رگرسیونی در رابطه‌های (۸) و (۹) می‌باشند که براساس این جدول‌ها تمامی ضرایب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. باتوجه به جدول ۲ مجدداً این متغیر بر مصرف سوخت در وضعیت تیغه‌ی جدید باله‌دار دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

جدول ۱۰- مقایسه‌ی میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و حالت بهینه براساس عمق خاک‌ورزی در دو حالت باله‌دار و بدون باله

Table 10- Average comparison of measured values and optimal mode based on tillage depth in two modes winged and non-winged

	عمق خاک‌ورزی Tillage depth (cm)	مقاومت کششی Draft (kN)	سطح مقطع بالاآمدگی خاک Soil upheaving area (cm²)	سطح مقطع به‌هم‌خوردگی خاک Soil disturbance area (cm²)	مصرف سوخت Fuel consumption (L min⁻¹)	لغزش Slippage (%)	مقاومت ویژه Special draft (N cm⁻²)
باله‌دار Winged	15	2.684*	404.563	506.668	0.410*	4.251*	5.322
	20	2.783	420.799*	671.223*	0.431	4.740	4.167*
بدون باله Non-winged	15	2.495*	239.496	386.429	0.399*	3.660*	6.518
	20	2.571	293.333*	556.548*	0.492	4.220	4.629*

* = مقادیر بهینه‌ی هریک از صفت‌های اندازه‌گیری شده در تیمار عمق خاک‌ورزی

* = Optimal values of each of the factors measured in the depth tillage treatment

جدول ۱۱- آنالیز واریانس برای ضرایب رگرسیونی معادله مربوط به بهینه‌سازی عمق خاک‌ورزی برای تیغه باریک جدید باله‌دار

Table 11- Analysis of variance for regression coefficients of the equation related to the optimization of the tillage depth for winged new narrow blade

	df	SS	MS	F	P Value
Regression	6	543.66	90.61	399.25	**
Residual	83	18.84	0.23		
Total	89	562.5			

** = $p \leq 0.01$

جدول ۱۲- آنالیز واریانس برای ضرایب رگرسیونی معادله مربوط به بهینه‌سازی عمق خاک‌ورزی برای تیغه باریک جدید بدون باله

Table 12- Analysis of variance for regression coefficients of the equation related to the optimization of the tillage depth for non-winged new narrow blade

	df	SS	MS	F	P Value
Regression	5	558.24	111.65	2199.62	**
Residual	84	4.26	0.05		
Total	89	562.5			

** = $p \leq 0.01$

همانطور که در جدول ۱۰ قابل مشاهده است، با افزایش عمق خاک‌ورزی، مقاومت کششی نیز افزایش یافته است. دلیلی این امر وجود خاک بیشتر در هنگام افزایش عمق در جلوی تیغه می‌باشد، به همین دلیل مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد. که این نتیجه با نتایج دیگر پژوهشگران که بیان داشته‌اند با افزایش عمق خاک‌ورزی، مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد (Wolf *et al*., 1981; Garner *et al*., 1987; Moitzi *et al*., 2014)، مطابقت دارد. همچنین با افزایش عمق خاک‌ورزی، سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک نیز افزایش داشت (جدول ۱۰). با افزایش عمق خاک‌ورزی، تیغه خاک‌ورز با حجم بیشتری از خاک مواجه هست که باید برای انجام عملیات خاک‌ورزی، این حجم از خاک را جابه‌جا کند. به همین خاطر با افزایش عمق خاک‌ورزی، تیغه خاک‌ورز خاک بیشتری را جابه‌جا خواهد نمود که باعث افزایش سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک می‌گردد. همچنین برخی از پژوهشگران بیان داشته‌اند که با افزایش عمق خاک‌ورزی، سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک افزایش می‌یابد (Spoor and Fry, 1983; Liu and Kushwaha, 2006) که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مطابقت دارد. با توجه به دلایل گفته شده با افزایش مقاومت کششی و سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک در هنگام افزایش عمق خاک‌ورزی، مصرف سوخت و لغزش چرخ تراکتور نیز افزایش می‌یابند که این نتیجه در جدول ۱۰ قابل مشاهده می‌باشد. زیرا در این بین با افزایش عمق خاک‌ورزی، نیروها وارد شده از طرف خاک به تراکتور افزایش یافته که باعث افزایش مصرف سوخت و لغزش چرخ تراکتور می‌گردد. طبق نتایجی که از پژوهش‌های گذشته نیز به‌دست آمده، با افزایش عمق خاک‌ورزی، مصرف سوخت و لغزش چرخ تراکتور نیز افزایش می‌یابد (Kheiralla *et al*., 2004) که نتایج پژوهش حاضر نیز بیانگر این مهم می‌باشد. طبق جدول ۱۰ نیز مشاهده می‌شود که مقدار متغیرهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش برای تیغه باله‌دار هنگام افزایش عمق خاک‌ورزی، بیشتر از تیغه بدون باله بود. همان‌طور که قبلاً گفته شد این امر به دلیل وجود باله می‌باشد (Salar *et al*., 2013).

لازم به ذکر است که گرچه طبق جداول ۲ و ۳ شاهد معنی‌دار بودن اثرات متقابل دوتایی و سه‌تایی می‌باشیم، لیکن به دلیل اینکه رگرسیون چند متغیره یک رابطه خطی ساده می‌باشد، این‌گونه اثرات متقابل را در نظر نمی‌گیرد. همچنین مدل‌های مربوط به اثرات متقابل دوتایی و سه‌تایی که معنی‌دار شده‌اند با ضریب همبستگی بالایی نیز استخراج گردید که با جایگزینی مقادیر متناسب از جداول ۴، ۷ و ۱۰ در روابط به‌دست آمده، مجدداً شاهد همان نتایج مرتبط با رگرسیون چند متغیره ساده می‌باشیم که نشان‌دهنده دقت بالای مدل‌ها برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی متغیرهای مد نظر می‌باشد.

هرچند اثرات متقابل متغیرهای مذکور بر مصرف سوخت برای وضعیت تیغه جدید بدون باله از اختلاف معنی‌داری برخوردار نبوده است اما مجدداً حداقل مصرف سوخت برای تیغه‌ی بدون باله نیز همانند تیغه‌ی جدید باله‌دار به‌ازای زاویه‌ی تمایل ۱۰ درجه حاصل شده است. در یک نگاه کلی و با توجه به جمیع عوامل، زاویه تمایل ۲۵ درجه برای هر دو وضعیت باله‌دار و بدون باله پیشنهاد شده است. بنابراین می‌توان این‌گونه بیان نمود که بر روی تیغه جدید با اعمال زاویه تمایل و حذف باله، به‌طور قابل‌قبولی از میزان مقاومت کششی، مقاومت ویژه و مصرف سوخت کاسته می‌شود و بر مقادیر سطح مقطع به‌هم‌خوردگی و بالاآمدگی خاک افزوده می‌گردد. اثر متقابل این عامل بر روی میزان لغزش چرخ محرک نیز معنی‌دار می‌باشد. با توجه به این‌که اثر زاویه تمایل برای هر دو تیغه باله‌دار و بدون باله بر مقدار لغزش چرخ محرک معنی‌دار بوده است، به نحوی که افزایش زاویه تمایل غالباً موجب کاهش در مقدار لغزش چرخ محرک شده است. حال چنان‌چه مقدار لغزش چرخ محرک تراکتور به‌ازای زاویه‌ی بهینه ۲۵ درجه مد نظر قرار گیرد، براساس نمودار بیان‌کننده ارتباط بین راندمان کشش[1] در مقابل لغزش چرخ[2] (Wismer and Luth, 1974) و به‌ازای $C_n = ۵۰$[3] که از طریق محاسبه به‌دست آمده است، ملاحظه می‌گردد که مقدار راندمان کششی تراکتور ۸۲ ٪ حاصل خواهد شد. این مقدار بیانگر تأثیر زاویه تمایل بر مقدار توان خروجی کشش تراکتور با توجه به تعریف راندمان کششی تراکتور می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به رشد فزاینده‌ی استفاده از خاک‌ورز مرکب و با توجه به خشکی خاک و درصد پایین رطوبت آن و با توجه به لزوم جایگزینی تیغه‌های جدید خاک‌ورز مقاوم در برابر نیروهای عکس‌العمل وارده بر آن‌ها از جانب خاک خشک، تیغه‌های بدون باله با زاویه تمایل حدود ۲۵ درجه برای خاک‌ورزی در عمق ۲۰ سانتی‌متر و با سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت می‌تواند راندمان کششی تراکتور را تا ٪ ۸۲ افزایش دهد. از طرفی با مراجعه به جدول ۴ میزان مصرف سوخت تراکتور برای وضعیت تیغه‌ی بدون باله نیز به میزان ٪ ۳۴ در مقایسه با تیغه‌های خاک‌ورز وارداتی بدون زاویه تمایل کاهش یافته است.

1- Tractive efficiency
2- Wheel slippage
3- Wheel numeric (Wismer and Luth, 1974)

References

1. Akbarnia, A., A. Mohammadi, R. Alimardani, and F. Farhani. 2014. Simulation of draft force of winged share tillage tool using artificial neural network model. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 16 (4): 57-65.
2. Al-Suhaibani, S., and A. E. Ghaly. 2010. Effect of plowing depth of tillage and forward speed on the performance of a medium size chisel plow operating in a sandy soil. American Journal of Agricultural and Biological Science.
3. Azimi Zadeh, Z. 2017. Development and evaluation of a narrow blade for improving combined tillage tool performance. School of Agriculture. Shiraz University, Shiraz. Iran. (In Farsi).
4. Bilgili, M., and B. Sahin. 2010. Comparative analysis of regression and artificial neural network models for wind speed prediction. Meteorology and Atmospheric Physics 109 (1): 61-72.
5. Garner, T., W. Reynolds, H. Musen, G. Miles, J. Davis, D. Wolf, and U. Peiper. 1987. Energy requirement for subsoiling coastal plain soils. Transactions of the ASAE, 30 (2): 343-0349.
6. Harrison, H. P., and Z. J. Licsko. 1989. Soil reacting forces for models of three bent-leg plows. Soil and Tillage Research 15 (2): 125-135.
7. Hosseini, M., S. A. Movahedi Naeini, A. A. Dehghani, and Y. Khaledian. 2016. Estimation of soil mechanical resistance parameter by using particle swarm optimization, genetic algorithm and multiple regressions. Soil and Tillage Research 157: 32-42.
8. Ibrahmi, A., H. Bentaher, E. Hamza, A. Maalej, and A. Mouazen. 2015. Study the effect of tool geometry and operational conditions on moldboard plough forces and energy requirement: Part 2. Experimental validation with soil bin test. Computers and Electronics in Agriculture 117: 268-275.
9. Ismail, W., W. Ishak, and T. Burkhardt. 1993. Draft and fuel requirements measurement using tractor on-board data acquisition system. Pertanika Journal of Science & Technology 1 (1): 51-64.
10. Jafari, R., S. H. Karparvarfard, and S. A. Hosseini. 2011. The Effect of Geometry and Motion Characteristics of Narrow Tillage Tool on Soil Disturbance Efficiency. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi 7 (3).
11. Kheiralla, A. F., A. Yahya, M. Zohadie, and W. Ishak. 2004. Modeling of power and energy requirements for tillage implements operating in Serdang sandy clay loam in Malaysia. Soil and Tillage Research 78: 21-34.
12. Kotu, V., and B. Deshpande. 2015. Concepts and Practice with Rapid miner. PP 165-193 in M. Kaufmann. Eds. Predictive Analytics and Data Mining. E-Publishing Inc., San Francisco.
13. Liu, J., and R. Kushwaha. 2006. Modeling of soil profile produced by a single sweep tool. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal 7 (1): 1-13.
14. Manuwa, S. 2009. Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. Soil and Tillage Research 103 (2): 399-405.
15. Majidi-Iraj, H., and M. H. Raoufat. 1997. Power requirement of a bent leg plow and its effects on soil physical conditions. Iran Agricultural Research 16 (1): 1-16.
16. Mckyes, E. 1985. Soil cutting and tillage. Development in agricultural engineering. vol. 7. Elsevier. Amsterdam.
17. Melero, S., R. López-Garrido, J. M. Murillo, and F. Moreno. 2009. Conservation tillage: Short-and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. Soil and Tillage Research 104 (2): 292-298.
18. Mehrijani, M., J. Khodaei, and S. Zareei. 2018. Modeling and optimizing of the energy consumption of moldboard plow using Response Surface Methodology (RSM). Journal of Agricultural Machinery 9 (1): 167-176. (In Farsi).
19. Moitzi, G., H. Wagentristl, K. Refenner, H. Weingartmann, G. Piringer, J. Boxberger, and A. Gronauer. 2014. Effects of working depth and wheel slip on fuel consumption of selected tillage implements. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal 16(1): 182-190.
20. Raheman, S., and Y. Chen. 2001. Laboratory investigation of cutting forces and soil disturbance resulting from different manure incorporation tools in a loamy sand soil. Soil and Tillage Research 58 (1): 19-29.
21. Rahmanian-Koushkaki, H., S. H. Karparvarfard, and A. Mortezaei. 2015. The effect of the operational characteristics of the tractor composite electronic measurement system by the standards of emotion on the performance of chisel plows in a clay loam soil. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal. 17 (1): 44-49.
22. Rahmatian, M., S. H. Karparvarfard, and M. A. Nematollahi. 2018. Prediction for optimizing performance of chisel blade used in combined tillage to obtain suitable effectiveness. Iranian Journal of Biosystem Engineering 49 (1): 73-82. (In Farsi).
23. Rowe, R., and K. Barnes. 1961. Influence of speed on elements of draft of a tillage tool.
24. Salar, M. R., A. Esehaghbeygi, and A. Hemmat. 2013. Soil loosening characteristics of a dual bent blade subsurface tillage implement. Soil and Tillage Research 134: 17-24.
25. Salar, M. R., and S. H. Karparvarfard. 2017. Modeling and optimization of wing geometry effect on draft and vertical forces of winged chisel plow. Journal of Agricultural Machinery 7 (2): 468-479. (In Farsi).
26. Sahu, R. K., and H. Raheman. 2006. An approach for draft prediction of combination tillage implements in sandy clay loam soil. Soil and Tillage Research 90 (1): 145-155.

27. Solhjou, A., J. M. Fielke, and J. M. Desbiolles. 2012. Soil translocation by narrow openers with various rake angles. Biosystems Engineering 112 (1): 65-73.
28. Shafaei, S. M., M. Loghavi, and S. Kamgar. 2018. On the neurocomputing based intelligent simulation of tractor fuel efficiency parameters. Information Processing in Agriculture 5 (2): 205-223.
29. Spoor, G., and R. J. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. Agricultural Engineering Research 23: 243-258.
30. Spoor, G., and R. K. Fry. 1983. Soil disturbance generated by deep working low rake angle narrow tines. Agricultural Engineering Research 28: 217-234.
31. Wismer, R. D., and H. J. Luth. 1974. Off-Road traction prediction for wheeled vehicles. Transactions of the ASAE, Presented as ASAE Paper No. 72-619. pp. 8-14.
32. Wolf, D., T. H. Garner, and J. W. Davis. 1981. Tillage mechanical energy input and soil crop response. Transactions of the ASAE, 24 (6): 1412-1419.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 10, No. 2, Fall- Winter 2020, p. 273-287

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۹، ص ۲۸۷-۲۷۳

Optimization and Evaluation of Working Conditions of New Tillage Blade for Use in Tillage Tools

M. Mohammadi[1], S. H. Karparvarfard[1*], S. Kamgar[1], M. Rahmatian[2]

Received: 04-07-2018
Accepted: 29-10-2018

Introduction

Due to problems such as water resources constraints, poor soil and soil organic matter, and the problems related conventional tillage, the attention paid to protective tillage equipment should be taken into consideration by farmers. Today, agricultural machinery designers and manufacturers are looking for ways to resolve the problems due to the lack of water and soil resources and the reduction in fuel resources. One of these solutions is the optimization of agricultural machinery. The blade is one of the most important consumed components of tillage tools, which is very important for how it is adjusted and its effect on soil. According to research conducted on the importance of optimizing tillage implements, this study was carried out with the aim of optimizing the operating conditions for combined tillage with a new narrow blade.

Materials and Methods

The tests were taken place in the 10th section of farms in Agriculture school (Bajgah zone) of Shiraz University. Those tests were arranged as the split-split plot based on a completely randomized design. The treatments included the tillage depth, tilt angle and forward speed. The levels for the tillage depth, tilt angle and forward speed were 15, 20 cm and 0, 10, 15, 20, 25 degree and 3, 4, 5 km h^{-1} respectively. The experiments were performed in three replications. The test variables were draft, soil upheaving and disturbance areas, specific draft, fuel consumption and tractor wheel slippage. The CK 45 steel was used to make blades. The blades were made of the same dimensions and the difference between the blades was only at their tilt angle. Before starting the field tests, some properties of soil such as soil moisture content, soil texture and soil bulk density were measured. The RNAM test code was then used for measuring the draft force. The encoder and the fifth wheel were also employed to measure the slippage. For measuring the fuel consumption, two flow meters were used in the round way. The profilometer was applied for measuring the soil upheaving and disturbance areas. The specific draft was also computed. The data analysis was performed by SAS software (9.4 edition). Multiple regression method was used for modeling the desired treatments.

Results and Discussion

The results of multivariate regression method for optimizing forward speed, tillage depth and tilt angle for the blades including winged were 3.3 km h^{-1}, 20 cm and 25°, respectively, and for the non-winged, 3.5 km h^{-1}, 20 cm and 24.8°. Providing the tilt angle on the blade surface is considered as an innovation in this research, therefore, it can be seen from the results that with increasing this angle, the draft of the tillage was decreased. This could be due to the increased surface of the blade in the face of the soil on the diagonal surface. This increase was proportional to the cosine tilt angle at the initial surface of the blade. Therefore, the shear strength of the soil was decreased with increasing of this surface and ultimately decreased the amount of draft of the tillage. This variable had a significant difference with the depth of tillage and the forward speed of tractor and fuel consumption for the winged new narrow blade. Although the interactions of the above mentioned variables on the fuel consumption for the new blade condition were not significantly different, the minimum fuel consumption for the non-winged blade condition was also obtained at the same tilt angle as the winged new blade. In general, considering all of factors, the 25 degree inclination angle was proposed for both conditions. The interaction of this factor (tilt angle) on the wheel slip rate was also significant. The effect of the angle of inclination for both blades was significant on the slip of the wheel drive, so that the increase in the tilt angle reduced the amount of wheel slip. However, if the amount of slip of the tractor's wheel for an optimum angle of 25° was considered, according to the graph which representing the relationship between tractive efficiency vs. wheel slip and for $C_n = 50$, the tractive efficiency will be determined by calculation. It should be noted that the tractor's tractive efficiency was equivalent to 82%. This value reflects the effect of the tilt angle on the amount of tractor output power according to the definition of the tractive efficiency of the tractor.

Conclusions

Considering the increasing growth of using combined tillage tools in dry soil and its low moisture content, and considering the necessity of replacing the custom chisel blades with new blades which resistance to the soil

1- Department of Biosystems Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: karparvr@shirazu.ac.ir)

reaction forces upon them, the non- winged blades with the tilt angle about 25° for working depth of 20 cm and forward speed of 3.5 km h^{-1} can increase the tractive efficiency of tractors to 82% and also decrease the fuel consumption by 34% compared to conventional tillage blades.

Keywords: Optimum forward speed, Optimum tilt angle blade, Optimum tillage depth, Tractive efficiency